



TITLE:

開水路浮遊砂流れにおける粒子・流体の相互作用と組織乱流の変化に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

野口, 和則

CITATION:

野口, 和則. 開水路浮遊砂流れにおける粒子・流体の相互作用と組織乱流の変化に関する研究. 京都大学, 2010, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2010-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k15310>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	野口 和則
論文題目	開水路浮遊砂流れにおける粒子・流体の相互作用と組織乱流の変化に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は開水路流れにおいて浮遊粒子を伴う流れを中心に研究を行ったものであり、大きく 2 つのテーマに分類される。1 つは平坦河床流れにおいて、粒子・流体の相互作用に着目したもの(3～4 章)、もう一つは河床形状を有する流れにおいて粒子・流体の同時計測を行ったもの(5～7 章)である。粒子・流体の相互作用は、この 20 年で注目されてきた大きな研究課題の 1 つであり、粒子・流体の相互作用を詳細に検討することで、実河川における河床の洗掘および砂粒子の運搬・堆積が定量的に評価されることが期待されている。また、河床波流れのような組織渦が卓越する流れにおいても本手法は有効であると考えられる。</p> <p>本論文の詳細な内容であるが、まず第 1 章では本研究を遂行するにあたってのモチベーションをまとめており、以下に示すとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 実河川においては、流れ場を形成する要素、流れ・流砂・河床形状の三者が相互に、かつ複雑に関係しあっており、流れ場の特性に関して未解明な点が非常に多い。流れ場の特性の解明は、河川管理などの土木工学的観点において非常に重要なテーマである。2. 近年、画像計測による流れの可視化が主流となっている。この手法の大きな利点は、既往研究の多くに見られる点計測とは異なり、流れ場全体の瞬間構造を時系列的に捉えることが可能であることであり、これは流れ場の特性解明に非常に有効である。 <p>続いて第 2 章では、粒子と流体の同時計測および河床波流れにおける既往研究のレビューを行った。粒子と流体の同時計測には様々な計測手法が用いられているため、これらの手法の長所・短所・特徴を把握し、本論文で使用する同時計測手法に至るまでの改良点を論究した。</p> <p>次に第 3 章では、平坦河床流れにおける粒子・流体の相互作用に着目し、画像計測(PIV・PTV 法)を用いて流れ場を計測した。その際、計測画像中に映し出された粒子数をカウントすることで、局所的な粒子濃度を計測する手法を提案した。そのようにして得られた統計量データから、粒子・流体の相対速度、粒子を伴うことによる乱れ強度の変化(乱流変調)、および粒子フラックスについて考察した。</p> <p>第 4 章では、画像計測では計測できないような高粒子濃度流れについて超音波ドップラー流速計 (ADV) 計測を行った。ADV 計測においては、時系列的に記録される超音波の反射強度の強弱から粒子・流体の判別分離は可能であり、その詳細について検討した。</p> <p>第 5 章からは実河川への適用を視野に入れて河床波(Dune)を有する流れを研究対象とした。河床波流れにおいては粒子を伴わない流れ、すなわち清流(clear-water flow)に関する流れの特性を検討した研究結果は数多く報告されているものの、浮遊砂を伴う流れにおける粒子と流体の相互作用を考察した研究は非常に少ない。</p>			

まず 5 章では実河川における典型的な Dune 形状を模した流れを再現し、浮遊粒子(ガラスビーズ)を有する流れ場の変化に着目し、浮遊粒子の影響によって河床波流れ特有の組織構造を持つ領域において乱れ強度が減少することを解明した。

次に第 6 章では河床波流れの発達過程に着目した。その結果、河床形状が発達し Dune 流れ特有の逆流域が形成されると、流れが急激に変化し、平坦河床に似た流れから河床波流れへと推移することが示された。

第 7 章では、河床波流れ特有の組織構造、すなわちコルク・ボイル渦の 3 次元性に注目した。本章では水面側にカメラを設置し x - z (流下-横断)平面を計測することでコルク・ボイル渦による流れや浮遊粒子の横断方向への拡散を計測した。さらに本章では、実験した河床波流れを Large Eddy Simulation(LES)によって数値計算的に再現した。実験的研究では x - y 、 x - z 平面の計測は比較的容易であるが、 y - z (鉛直-横断)平面の計測が非常に困難である。したがって、コルク・ボイル渦のように底面近傍から上昇した後、横断方向に移流拡散する流れの 3 次元構造を把握するには数値流体計算は非常に有効であることが示された。

第 8 章では、結論として本研究で得られた知見を要約し、現時点での課題を論じている。

(論文審査の結果の要旨)

本研究は開水路流れにおいて浮遊粒子を伴う流れを中心に研究を行ったものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 粒子を伴うことにより流体の乱れ強度が変化し、小さな粒径では乱れが減衰し、大きな粒径では乱れが増幅する結果となった。また、この増幅・減衰の限界の粒径は Kolmogoroff ミクロスケールとほぼ一致し、粒子・流体の相互作用は流れのマクロスケールでなくむしろミクロスケールが支配的であることが示唆された。
2. Ejection が発生している領域では局所的に粒子濃度が増加し、一方で Sweep が発生している空間では局所粒子濃度が減少した。これは粒子の浮上と流れの組織構造の関係を示した重要な特性であり、既往研究において示唆された特性を実証できた。
3. 平坦河床流れから河床波流れが発達するまでの過程において、河床形状が徐々に大きくなり、河床波頂部からの逆流域が発生した時点で流れ場の特性が大きく変化し、乱れ強度が急激に増大した。その際、流れ場の特性変化に伴って粒子濃度も増加した。
4. 河床波流れに特有の底面近傍からの上昇流、すなわちコルク・ボイル渦の可視化を行い、渦構造の3次元性を示した。さらに渦構造に追随する粒子挙動を同時計測することで、ボイル渦によって粒子が浮上し、その後ボイル渦外部へと浮遊粒子が拡散する様子が実験的に示された。

上記のような、新規性のある成果および既往研究において示唆された現象の詳細な考察などを行っている。特に粒子に起因する乱れの増幅・減衰の限界が、流れのミクロスケールである Kolmogoroff スケールによって支配される可能性を示唆した点は学術上寄与するところが少なくない。

また、多くの実験的研究が詳細な水理条件下で高精度に行われており、これらは固液混相流を数値計算的に研究する上で非常に有用なデータであると考えられる。以上より、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年11月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。